

ION IMPLANTING METHOD AND METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

Publication number: JP10163123

Publication date: 1998-06-19

Inventor: GOTO KENICHI; KASE MASATAKA; MATSUI JIRO;
YAMADA AKIRA; TAKEUCHI DAISUKE; TOYODA
KISHO; SHIMADA NORIHIRO

Applicant: FUJITSU LTD; KAGAKU GIJUTSU SHINKO JIGYODAN

Classification:


- **international:** **C23C14/48; H01L21/265; C23C14/48; H01L21/02;**
(IPC1-7): H01L21/265

- **European:** C23C14/48; H01L21/265A2

Application number: JP19960323065 19961203

Priority number(s): JP19960323065 19961203; US19960762853 19961206

Also published as:

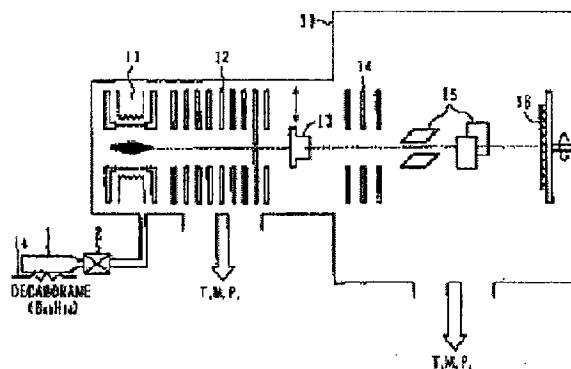
 US6013332 (A1)

[Report a data error here](#)

Abstract of JP10163123

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily form a shallow p-type impurity-doped region in a TV semiconductor substrate, by gasifying solid decaborane, ionizing the gaseous decaborane-molecules and accelerating resulting ions by an electric field to implant the ions in a target.

SOLUTION: A decaborane bottle 1 is connected to a vacuum treating apparatus 10 through a valve 2. This apparatus includes an ionizer 11 having an electron gun, mass filter 12, Faraday cup 13, accelerator 14, deflector 15 and target 16. Decaborane in the bottle 1 is gasified, fed in the treating apparatus 10 and irradiated with electrons by the ionizer 11 into positive ions which are accelerated and injected into a target 16 such that the decaborane gas is jetted from a nozzle 4, ionized by the ionizer 11, and accelerated by the accelerator to run toward the target 16.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-163123

(43)公開日 平成10年(1998)6月19日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/265

H 0 1 L 21/265

Z

W

D

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 19 頁)

(21)出願番号

特願平8-323065

(22)出願日

平成8年(1996)12月3日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 後藤 賢一

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 高橋 敬四郎

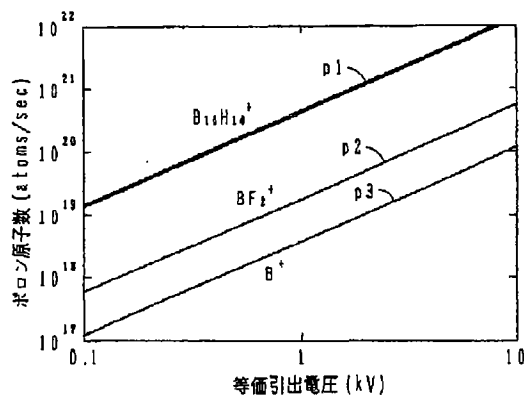
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 イオン注入方法および半導体装置の製造方法

(57)【要約】

【課題】 I V族半導体にボロンを浅くイオン注入する方法に関し、I V族半導体基板に浅いp型不純物ドーパ領域を容易に作成することができる半導体装置の製造方法を提供することである。

【解決手段】 半導体装置を製造する方法は、デカボランをイオン化する工程と、次いで、イオン化したデカボランを、少なくとも表面にn型シリコン領域を含むシリコンウエハに注入する工程と、次いで、活性化アニールを行いp n接合を形成する工程とを含む。固体デカボランは、減圧雰囲気または加熱によって気化することができる。一個のデカボラン分子は10個のボロン原子を供給し、ボロン原子1個当たりの加速エネルギーをデカボラン分子の加速エネルギーの約1/10に低減することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 固体のデカボラン ($B_{10}H_{12}$) を気化させる工程と、
気体状のデカボラン分子をイオン化させる工程と、
デカボランのイオンを電界で加速してターゲットに注入する工程とを含むイオン注入方法。

【請求項2】 前記イオン化工程において、デカボランのイオン化を加速エネルギー20keV以下の電子を照射して行う請求項1記載のイオン注入方法。

【請求項3】 前記イオン化工程の後に質量分析を行い、所望のイオンを選択する工程を有し、かつ該イオン選択工程において、前記イオン化したデカボランの分子量を107から123の質量範囲から選択する請求項1記載のイオン注入方法。

【請求項4】 前記イオン化工程を、プラズマによってデカボラン分子をイオン化させ、かつ該イオン化工程の後に質量分析を行い、所望のイオンを選択する工程を有する請求項1記載のイオン注入方法。

【請求項5】 デカボランをイオン化する工程と、
次いで、イオン化したデカボランを、少なくとも表面にn型シリコン領域を含むシリコンウエハに注入する工程と、
次いで、活性化アニールを行いpn接合を形成する工程とを有する半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記シリコンウエハが絶縁ゲート電極を備えたn型シリコン表面層を含み、前記注入工程がpチャネルMOSFETのソース・ドレインにデカボランを注入し、pn接合を形成する工程を有する請求項5記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記注入工程の前に、シリコンウエハに電気的に不活性な元素のイオン注入を行い、表面領域をブリアモルファス化する工程を有する請求項5記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体基板へのイオン注入に関し、特にIV族半導体にボロンを浅くイオン注入する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 所望導電型の不純物を所望領域にドーピングすることは半導体デバイス構造作成のため重要な技術である。不純物ドーピング方法として、イオン注入が広く用いられている。イオン注入においては、所望のイオンに加速エネルギーを与え、対象とする半導体基板にイオン注入し、その後注入した不純物を活性化することによって電気的に活性な不純物ドーピング領域を得る。イオン加速エネルギー、ドーピング量を選択することにより不純物ドーピング領域の深さ、抵抗値を制御する。シリコン基板にp型領域を形成するためには、通常ボロンイオンが注入される。

【0003】 半導体デバイス的高速化、高集積化のため

には、MOSトランジスタ等のサイズを微細化することが要求される。スケールング則に従ってMOSトランジスタを微細化すると、ゲート長0.1μmのデバイスでは、ソース/ドレインの接合深さが0.05μm程度となり、従来のイオン注入機では実現が困難となる。

【0004】 一般的なイオン注入装置は、加速エネルギーが小さくなればなる程生成できるビーム電流量は少なくなる。イオンビームは、それ自身が有するビームポテンシャルにより広がろうとする傾向を有する。広がり幅は、ビーム電流値に比例し、エネルギーの1.5乗に反比例することが知られている。浅い接合を作るために、加速エネルギーを低下させると、ビームの効率が悪化し、ビーム電流の低下を招く。

【0005】 ゲート長0.1μm以下のMOSトランジスタを作成する場合、ボロンの加速エネルギーとしては5keV以下が要求される。Bイオンを加速エネルギー5keVでイオン注入する場合、従来のイオン注入装置では電流量が1mA以下となってしまふ。このように低いビーム電流でMOSトランジスタを作成しようとすれば、生産性が極端に低下し、生産コストが上昇してしまふ。

【0006】 イオンを浅く注入するためには、加速エネルギーを低下させる他、注入するイオンの質量を増加させる方法がある。ボロンイオンを注入するためにBF₂イオンを使う方法が提案されている。B単体のイオン注入に比べ、BF₂イオンのイオン注入では、Bイオンの加速エネルギーが実効的に約1/5になる。従って浅い接合形成に有利となる。

【0007】 しかしながら、MOSトランジスタをBF₂イオン注入を用いて形成すると、他の問題が生じることが知られてきた。MOSトランジスタのソース/ドレインにイオン注入する場合、同時にゲートにもイオンが注入される。シリコンゲートには、空乏化を防止するために充分量の不純物を注入する必要がある。微細なMOSトランジスタにおいては、ゲート酸化膜も薄くなり、たとえば10nm以下の薄い酸化膜がゲート酸化膜として用いられる。BイオンのソースとしてBF₂イオンを用いると、注入された弗素がゲート酸化膜中のB拡散を増速してしまふ。これらのB原子が弗素の影響によりゲート酸化膜を通過してその下のチャネル領域に拡散すると、MOSトランジスタのしきい値を変動させてしまふ。従って、薄いゲート酸化膜を持つpチャネルMOSトランジスタにはBF₂イオン注入を簡単に採用することはできない。

【0008】 また、微細なパターンを有する半導体デバイスにイオンを注入する場合、チャージング現象が問題になる。ゲート電極に正電荷が帯電し、この正電荷がゲート酸化膜を通過して放電すると、ゲート酸化膜が劣化する。この劣化現象は、流れ込むイオン電流が大きいほど顕著となる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、ⅠⅤ族半導体基板に浅いp型不純物ドーパ領域を容易に作成することができる半導体装置の製造方法を提供することである。

【0010】本発明の他の目的は、シリコン半導体基板に浅いボロン注入領域を作成することのできるイオン注入方法を提供することである。

【0011】本発明のさらに他の目的は、ⅠⅤ族半導体基板に浅いp型不純物ドーパ領域を作成するのに適した半導体装置の製造装置を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の1観点によれば、固体のデカボラン($B_{10}H_{14}$)を気化させる工程と、気体状のデカボラン分子をイオン化させる工程と、デカボランのイオンを電界で加速してターゲットに注入する工程とを含むイオン注入方法が提供される。

【0013】本発明の他の観点によれば、デカボランをイオン化する工程と、次いで、イオン化したデカボランを、少なくとも表面にn型シリコン領域を含むシリコンウェハに注入する工程と、次いで、活性化アニールを行いpn接合を形成する工程とを有する半導体装置の製造方法が提供される。

【0014】デカボランは、 $B_{10}H_{14}$ の分子式を有し、B原子と較べて著しく大きな分子量を有する。同一イオン価のBと $B_{10}H_{14}$ とを同一加速電圧で加速すると、 $B_{10}H_{14}$ はBに比べ質量が約10倍あるためB1原子当りの加速エネルギーは約1/10になる。また、1個の分子を注入すると10個のB原子を注入したこととなるため、実効注入量も10倍となる。

【0015】B1原子当りの加速エネルギーが小さくなるため、 $B_{10}H_{14}$ の加速エネルギーを高く設定することができる。このため、ビームの広がりを抑制することができる。また、同一イオン電流で10倍のBを注入することができるため、注入効率も約10倍となる。従って全体的に考え、Bイオン注入と比べ、 $B_{10}H_{14}$ は100倍も効率的にボロンを注入することが可能である。

【0016】デカボランは弗素を含まない。従って、弗素がイオン注入されることによる悪影響は生じない。厚さ10nm以下のゲート酸化膜を用いたMOSTランジスタにおいても、Bの増速拡散を抑制することができる。従って、しきい値変動の少ない、信頼性の高いpチャネルMOSTランジスタを作成することができる。

【0017】また、Bイオン注入と比べ、 $B_{10}H_{14}$ イオン注入はイオン電流を約1/10とすることができるためチャージング現象を実効的に抑制することが可能である。従って信頼性の高いゲート酸化膜を有するpチャネルMOSTランジスタを生産することが可能である。

【0018】

【発明の実施の形態】以下図面に従って本発明の実施例を説明する。

【0019】図1はデカボラン($B_{10}H_{14}$)の分子構造を示す。大きな丸はBを示し、小さな丸はHを示す。

【0020】図2は実効注入エネルギーに対する注入ボロン原子数の関係を示すグラフである。LANGMUIR-CHAILD 則に従って計算した結果である。横軸は等価加速電圧を示し、シリコン中に注入される深さを表わす。縦軸はボロン原子数を示し、単位時間当たり単位面積に注入されるボロン原子数を示す。

【0021】注入される深さを同一にすると、デカボランの原子数はBの100倍、 BF_3 の20倍となることが判る。

【0022】図3はデカボランのイオン注入を行なうデカボランイオン注入装置の構成を概略的に示すダイアグラムである。デカボランボトル1がバルブ2を介して真空処理室10に接続されている。真空処理室10内には、電子銃を有するイオナイザ11、マスフィルタ12、ファラデーカップ13、アクセルレータ14、デフレクタ15、ターゲット16が配置されている。デカボランボトル1内でデカボランは気化し、気体デカボランが真空処理室10内に供給される。気体デカボランはイオナイザ11で電子照射を受け、正イオンとなり、加速されてターゲット16に注入される。

【0023】図4A、4Bはデカボランのイオン化方法を示すダイアグラムである。図4Aにおいて、デカボランのガスはノズル4から吹出し、イオナイザ11でイオン化され、アクセルレータ14で加速されてターゲットに向かって進行する。

【0024】図4Bにおいては、デカボランガスはプラズマ発生室18内においてプラズマ化され、引出し電極19の形成する引出し電界によって加速して引出される。さらにアクセルレータ14により加速され、ターゲットに向かって進行する。

【0025】デカボランは構成原子数が大きく、高エネルギーのビームを照射すると分裂する可能性が高い。プラズマによってデカボランをイオン化すると、種々の分子量のイオンが発生してしまう。電子照射によれば、デカボラン分裂を低減することができる。

【0026】なお、プラズマによってデカボランをイオン化させた場合にも、その後段に質量分析機を配置することにより、所望の分子量のイオンのみを引出すことができる。

【0027】図5はシリコン基板に B^+ 、 BF_2^+ 、 $B_{10}H_{14}^+$ イオンをそれぞれ注入した時の基板内のボロン濃度分布を示すグラフである。横軸は基板内の深さをnmで示し、縦軸はボロン濃度をatoms/cm³で示す。なお、 B^+ イオンの注入は加速エネルギー5keV、ドーズ量 1×10^{14} cm⁻²で行ない、 BF_2^+ イオンの注入は、加速エネルギーを5keV、ドーズ量を 1×10^{14} cm⁻²で行なった。 $B_{10}H_{14}^+$ イオンの注入は、加速エネルギーは他と同様に5keVとし、ドーズ量はB原子

のドーザ量が同一となるように $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ に設定した。

【0028】まず、 B^+ イオンの注入においては、 B^+ イオンがかなり深く注入されドーザ量のピーク位置も 10 nm より大きな値となっている。 BF_2^+ イオンと $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ の注入においてはドーザ量のピークは約 3 nm 程度の位置にあり、その後急激に低下している。曲線 p 4 と p 5 とは低下する勾配が異なり、曲線 p 4 の方が狭い範囲に分布している。曲線 p 4 と p 5 を比較すると、そのピーク値は p 4 の方がわずかに高い。このように、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオンを注入すると、約 $1/10$ のドーザ量で BF_2^+ とはほぼ同等のイオン注入量を得ることができる。

【0029】図5においては、 BF_2^+ イオンと $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオンとを同一の加速エネルギーでイオン注入した結果を示した。同一の加速エネルギーでイオン注入すると、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオンは、 BF_2^+ イオンよりも浅く注入することができる。同じ深さにイオン注入しようとする場合は、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオンの加速エネルギーはより高くすることができる。

【0030】図6は、ほぼ同じ深さに $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ と BF_2^+ とをイオン注入した実験結果を示す。横軸は基板内の深さを nm で示し、縦軸はボロン濃度を atoms/cm^3 で示す。曲線 p 7 は $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ を加速エネルギー 10 keV でドーザ量 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ でイオン注入した結果を示し、曲線 p 8 は BF_2^+ を加速エネルギー 5 keV 、ドーザ量 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ でイオン注入した結果を示す。図から明らかなように、曲線 p 7 と p 8 はほぼ同一の分布を示している。従って、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ をソースとしたイオン注入を行なう場合、 BF_2^+ をソースとしたイオン注入と比べ約2倍の加速エネルギーを印加することができる。

【0031】イオン注入した不純物は、アニールを行なって活性化しないと電気的に活性な不純物とはならない。活性化アニールは同時に不純物の拡散を生じさせる。そこで、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ のイオン注入および BF_2^+ のイオン注入を行なった後、 900°C および 1000°C で活性化アニールを行ないボロン分布がどのように変化するかを調べた。

【0032】図7A、7Bは、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオン注入および BF_2^+ イオン注入の後、 900°C および 1000°C で活性化アニールを行なった場合のボロン分布を示す。各図において、横軸は基板中の深さを nm で示し、縦軸はボロン濃度を cm^{-3} で示す。図7Aは、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオンを加速エネルギー 5 keV 、ドーザ量 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ でイオン注入した場合を示し、図7Bは BF_2^+ イオンを加速エネルギー 5 keV 、ドーザ量 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ でイオン注入した結果を示す。曲線 p 10 はイオン注入したままの状態のボロン分布を示し、曲線 p 11、p 12 は 900°C 、 1000°C 、 1000°C 、 10 秒間の活性化アニールを行なった後のボロン濃度分布を示す。また、

曲線 p 13 はイオン注入直後のボロン濃度分布を示し、曲線 p 14、p 15 は 900°C 、 10 秒間、 1000°C 、 10 秒間の活性化アニールを行なった後のボロン濃度分布を示す。なお、ボロン濃度分布は SIMS 測定によって行なった。

【0033】図7Aに示すように、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ をイオン注入した場合、 900°C 10 秒間の活性化アニールではボロン濃度分布はイオン注入直後のボロン濃度分布とほとんど変化していない。拡散によりわずかに平均深さが深くなっているのみである。 1000°C 、 10 秒間の活性化アニールを行なうと、 10^{19} cm^{-3} 以上の濃度領域において顕著な拡散が起こるのに対し、 10^{19} cm^{-3} 以下の濃度領域においてはイオン注入直後のボロン濃度分布がほぼ平行移動した状態を保っている。言い換えれば、 1000°C 、 10 秒間の活性化アニールを行なうと、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ のイオン注入領域は、理想的なボックス型不純物分布を示すようになる。

【0034】図7Bにおいては、 BF_2^+ イオン注入直後のボロン濃度分布は $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオン注入と比べ、かなり広い深さ領域に渡って分布する。 900°C 、 10 秒間の活性化アニールを行なうと、ボロン濃度分布の勾配が緩やかになり、ボロン濃度分布は明確により広い領域に広がること判る。 1000°C 、 10 秒間の活性化アニールは、 900°C 、 10 秒間の活性化アニールと較べると、ボロン濃度 10^{18} cm^{-3} 以上の領域でより広い領域に広がる顕著な傾向を示している。 10^{18} cm^{-3} 以下の濃度領域においては、 900°C 、 10 秒間の活性化アニールと 1000°C 、 10 秒間の活性化アニールにおいて顕著な差は認められない。

【0035】図7Bと図7Aを比較すると、より浅い拡散層を得るためには、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオン注入を行ない、約 900°C 、 10 秒間程度以下の活性化アニールを行なうことが好ましいと判る。また、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオン注入後 1000°C 、 10 秒間程度以上の活性化アニールを行なうと、ボックス型のボロン濃度を得ることができる。

【0036】なお、図7A、7Bにおけるボロン濃度は SIMS 測定の結果であり、必ずしも電気的に活性なボロン濃度を意味しない。後に説明するように、同一温度の活性化アニールを行なった場合、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ を用いた場合に BF_2^+ と比べより低いシート抵抗を実現することができる。

【0037】図8は、活性化アニール温度に対するシート抵抗の変化を示すグラフである。横軸は活性化アニール温度を $^\circ\text{C}$ で示し、縦軸をシート抵抗 ohm/\square で示す。イオン注入条件としては、 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ イオンを加速エネルギー 3 keV 、 5 keV 、 10 keV でイオン注入し、 BF_2^+ イオンを加速エネルギー 5 keV でイオン注入した。活性化アニール温度としては、 900°C 、 950°C 、 1000°C 、 1050°C を用いた。曲線 p 16 は $\text{B}_{10}\text{H}_{14}^+$ を加速エネルギー 3 keV でイオン注入した場

合を示し、曲線p 17は $B_{10}H_{14}^+$ イオンを加速エネルギー5 keVでイオン注入した結果を示し、曲線p 18は $B_{10}H_{14}^+$ イオンを加速エネルギー10 keVでイオン注入した結果を示す。曲線p 19は、比較のため BF_2^+ イオンを加速エネルギー5 keVでイオン注入した結果を示す。また曲線p 20は、 B^+ イオンを加速エネルギーを5 keVでイオン注入した結果を示す。

【0038】図6に示したように、 $B_{10}H_{14}^+$ イオンの加速エネルギー10 keVでのイオン注入と BF_2^+ イオンの加速エネルギー5 keVでのイオン注入はほぼ同等の効果を示す。図8における曲線p 18とp 19はこの場合に相当する。曲線p 18は、曲線p 19よりも常に下に位置し、低いシート抵抗が得られることを示している。すなわち、同一深さまでほぼ同ドーズ量のイオン注入を行なっても、 $B_{10}H_{14}^+$ をイオン注入した場合に BF_2^+ と比べより低いシート抵抗が得られることが判る。

【0039】また、図8の結果は、 $B_{10}H_{14}^+$ のイオン注入を行ない、適当な活性化アニールを行なうことによりシート抵抗を低減できることを示している。

【0040】図9は、接合深さに対するシート抵抗の関係を示すグラフである。横軸は接合深さをnmで示し、縦軸はシート抵抗を $\Omega\text{m}/\square$ で示す。デカボランのイオン注入条件は、加速エネルギー3 keVでドーズ量を $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 、 $3 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 、および加速エネルギー5 keVでドーズ量 $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ に変化させた。また参考として、 BF_2^+ イオンを加速エネルギー5 keV、ドーズ量 $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ でイオン注入した場合、ボロシリケートガラスからの固相拡散を行なった場合（プロットp 26、p 27）およびキャリア濃度を $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ のボックス型の接合を仮定した時の理想的なシート抵抗（曲線p 28）を示す。イオン注入後の活性化アニールは900℃～1000℃で行なった。

【0041】たとえば、加速エネルギー5 keVでデカボランをイオン注入した曲線p 24と、同一加速エネルギー、同一ドーズ量で BF_2^+ をイオン注入した曲線p 25を比較すると、デカボランをイオン注入した場合により浅く低抵抗の接合を形成できることがわかる。また、曲線p 22、p 23に示すように、極めて低いシート抵抗を得ることもできる。イオン電流に対応するイオン量の10倍のボロンがドーピングできるためであろう。プロットp 26、p 27と比較すると、固相拡散によるボロン拡散領域よりもかなり浅い接合を形成できることが判る。

【0042】図10は、 p^+n 接合の逆バイアス特性を示すグラフである。横軸は逆バイアス電圧をVで示し、縦軸はリーク電流をAで示す。曲線p 29は $B_{10}H_{14}^+$ を加速エネルギー30 keV、ドーズ量 $2 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ でイオン注入した場合を示し、曲線p 30は BF_2^+ イオンを加速エネルギー25 keV、ドーズ量 $2 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$

でイオン注入した場合を示す。デカボランのイオン注入を行なって接合を形成した場合にも BF_2^+ のイオン注入を行なって接合を形成した場合と同様の良好な逆バイアス特性が得られることが判る。

【0043】図11は、 p チャネルMOSトランジスタの構成を概略的に示す。 n 型シリコン領域21表面には、選択的にフィールド酸化膜22が形成されている。フィールド酸化膜22で画定された活性領域内に、厚さ約4 nmのゲート酸化膜24が形成され、その上に多結晶シリコンのゲート電極25が形成されている。なお、ゲート電極をポリサイド構造とする場合は、多結晶シリコンゲート電極25aの上にシリサイド層25bを積層する。ゲート電極25をパターンニングした後、デカボランイオンを加速エネルギー5 keV、ドーズ量 $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ でイオン注入し、LDD用の延長部26を形成する。なお、参考のために BF_2^+ イオンを加速エネルギー5 keV、ドーズ量 $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ でドーピングしたサンプルも作成した。

【0044】その後、 SiO_2 等の絶縁物をCVDで堆積し、異方性エッチングを行なうことにより、サイドウォールスペーサ28を作成する。サイドウォールスペーサ28作成後、デカボランを加速エネルギー30 keV、ドーズ量 $2 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ でイオン注入し、ソース/ドレイン領域29およびゲート電極25のイオン注入を行なった。その後、1000℃、10秒間の活性化アニールをRTAで行なった。なお、図に示すようにゲート長を L_g で示す。

【0045】図12A、12Bは、LDD領域にデカボランを注入した p チャネルMOSトランジスタのドレイン電流 I_d 対ドレイン電圧 V_d 特性およびドレイン電流 I_d 対ゲート電圧 V_g 特性を示す。電源電圧2Vでしきい値 $V_{th} = -0.13\text{V}$ 、ドレイン電流 $I_d = 0.33\text{mA}/\mu\text{m}$ 、Sファクタ $= 85\text{mV}/\text{dec}$ の良好なトランジスタ特性が得られた。

【0046】図13は、LDD領域にデカボランと BF_2^+ を注入した p チャネルMOSトランジスタのしきい値 V_{th} のゲート長依存性を示すグラフである。横軸にゲート長 L_g を μm で示し、縦軸にしきい値 V_{th} をVで示す。曲線p 37はデカボランをイオン注入した場合を示し、曲線p 38は BF_2^+ をイオン注入した場合を示す。ゲート長が短くなると、曲線p 37、曲線p 38共に上昇するが、その上昇の程度は曲線p 38の方が大きい。すなわち、デカボランをイオン注入した場合、短チャネル効果が抑制されることが判る。前述したように、 $B_{10}H_{14}^+$ と BF_2^+ のイオン注入は共に加速エネルギー5 keVで行なわれており、この場合デカボランのイオン注入の方が浅い接合を形成しているためと考えられる。

【0047】図14は、Sファクタのゲート長依存性を示す。横軸はゲート長 L_g を μm で示し、縦軸はSファクタを mV/dec で示す。曲線p 39はデカボランを

イオン注入した場合を示し、曲線p40はBF₃をイオン注入した場合を示す。ゲート長L_gが短くなるにつれて曲線p39、p40共に上昇するが、その程度は曲線p39の方が小さい。すなわち、Sファクタにおいてもデカボランをイオン注入した方が短チャネル効果を抑制できることが判る。

【0048】図15は、ドレイン電流I_dのしきい値V_{th}依存性を示す。横軸はしきい値V_{th}をVで示し、縦軸はドレイン電流I_dをmA/μmで示す。しきい値V_{th}をパラメータとすると、デカボランをイオン注入した場合もBF₃をイオン注入した場合と同様の電流が流れることが判る。

【0049】以上の実験結果をまとめると、デカボランイオンを注入して浅いp型領域を形成した場合、短チャネル効果を抑制したより特性のよいpチャネルMOSトランジスタを形成できることが判る。

【0050】pチャネルMOSトランジスタの多結晶シリコンゲートの高さは、通常ボロンの注入深さによって決められる。ゲート酸化膜にボロンが打ち込まれないように多結晶シリコンゲート電極の高さをある程度以上高くするためである。多結晶シリコンゲート電極がゲート酸化膜側で空乏化すると、良好なトランジスタ特性が期待できない。このため、多結晶シリコンゲートには充分高濃度の不純物をドーピングする必要がある。現在のイオン注入技術では、ボロンを大量にかつ浅くイオン注入することは困難である。

【0051】図16は、Si中にボロンをイオン注入した時のプロファイル計算によって算出した結果を示すグラフである。横軸は深さをμmで示し、縦軸は濃度をatoms/cm³で示す。ボロンイオンの加速エネルギーは、1keV~7keVの範囲で変化させ、ドーピング量は2×10¹⁵cm⁻²とした。なお、曲線p41~p47は加速エネルギーが1~7keVのボロンイオン注入の場合を示す。なお、曲線n1は参考としてバックグラウンドにAsをイオン注入した場合の分布を示す。現在行なわれているボロンの低加速エネルギーイオン注入は加速エネルギーが約7keVである。この場合、注入深さが約160nmとなる。プロセスマージンを考慮し、ゲート高さは通常180nmに設定される。ゲート高さをたとえば120nm以下にしようとする、プロセスマージンを考慮してイオン注入深さは約100nm以下とすることが望まれる。この場合、ボロンイオンの加速エネルギーは3keV以下となる。現在のイオン注入装置を用い、3keV以下の加速エネルギーでボロンイオンを注入しようとする、ビーム電流の指数関数的減少により膨大な時間を必要とする。

【0052】前述したように、デカボランを用いれば、B1原子当りの加速エネルギーを約1/10に低減することができ、かつイオン電流に対するボロン原子濃度を約10倍にすることができる。従って、デカボランのイオ

ン注入を行えば、高さの低いゲート電極を実現することが容易となる。ゲート電極の高さを低くすると、ポリサイドゲート電極の場合のポリサイドゲートエッチングが容易になり、コンタクトホール形成が容易になる。

【0053】埋め込みチャネル型MOSトランジスタは、ゲート直下に極薄のpn接合を作ることが製造技術上の鍵になる。埋め込みチャネル型pチャネルMOSトランジスタの作成において、埋め込みチャネル作成にデカボランを使用することができる。デカボランをイオン注入して浅い接合を形成すれば、良好な埋め込みチャネル型pチャネルMOSトランジスタを形成でき、短チャネル効果に対して強いpチャネルMOSトランジスタを得ることができる。

【0054】図3に示したイオン注入装置においては、デカボランのイオン化に電子照射を用いている。照射電子のエネルギーを高くすればデカボランのイオン化率を上げることができ、ビーム電流が多く取れる。しかしながら、照射電子のエネルギーを高くすると、デカボランの分子が分解しやすくなる。たとえば、B⁺やB₂⁺、H⁺・イオン等が生成される。このような状態でイオン注入を行なうと、質量の小さいボロンを含むイオンが深く注入され、実効的な注入深さが深くなってしまふ。

【0055】図17A~17Dはデカボラン分子に加速電圧20Vから100Vの電子を照射した時の発生粒子の質量分析結果を示すグラフである。横軸は質量数を示し、縦軸は信号強度を示す。図17Aは、加速電圧V_eが20Vの場合を示し、図17Bは、加速電圧V_eが40Vの場合を示し、図17Cは、加速電圧V_eが60Vの場合を示し、図17Dは、加速電圧が100Vの場合を示す。

【0056】照射電子の加速電圧が20Vの場合、図17Aに示すようにB原子を9個以下含むデカボラン由来スピーシーズは極めて少なく、B原子を10個含むイオンがほとんどである。B原子を10個含むスピーシーズを便宜上デカボランと呼ぶ。

【0057】図17B~17Dに示すように、加速電圧を40V以上になると、デカボランの存在確率は急減し、B原子を9個以下含むスピーシーズが増大する。加速電圧をV_e=100Vの場合には、B原子を1個含むスピーシーズの強度が最も高く、B原子の数が増大するにつれて高さは減少し、B原子を9個含むスピーシーズのピークが最も低く、デカボランのピーク高さはB₉よりは高くなっている。

【0058】加速電圧V_eを40V以上に設定した場合には、デカボランをイオン化して発生した全てのスピーシーズをイオン注入すると、種々の質量のデカボラン由来スピーシーズがイオン注入されてしまふ。イオン化後に質量分析を行わない場合には、照射電子の加速電圧は40V未満に設定することが好ましい。

【0059】デカボランをプラズマや高エネルギーの電子

照射でイオン化した後、質量分析する場合の公的な質量分析範囲について説明する。

【0060】ボロンの同位体としては、原子量10のボロンと原子量11のボロンが約2:8の割合で存在する。デカボランはB原子を10個含むため、同位体の混合比率によって分子量は114から124まで変化する。

【0061】イオン注入において、イオンを作成した後質量分析を行なえば、イオン注入をするイオン種を選択することができる。B⁺イオンやAs⁺イオンを注入する場合、原子量11と54を選択すればよい。しかしながら、デカボランの場合には分子量が上述のように広い範囲に存在し得る。すべての同位体の組み合わせを考慮すると、質量分析で分子量114から124のイオンを選択することとなる。また、デカボランを構成している水素は原子照射によって脱離し易い。

【0062】図18は、照射電子の加速電圧V_eを20V、40V、60Vに設定した時の、デカボランを質量分析した結果を質量数107から124の範囲で示す。横軸は質量数を示し、縦軸は信号強度を示す。いずれの加速電圧の場合にも、質量数117付近でピークを有する分布が形成されている。加速電圧V_eが20Vの場合には、質量数111から124の範囲で分布している。加速電圧を40V以上にしても、質量数の多い領域の分布はあまり変わらず、質量数の低い領域に分布が広がる。加速電圧を40V以上に設定した時は、B原子が9個以下のスピーシーズが多く発生するため、質量分析の必要性が生じる。この場合、選択する質量数は107から123の範囲に設定することが望ましい。このように選択する質量数の範囲を設定することにより、B原子を9個以下含むスピーシーズを排除し、B原子を10個含むスピーシーズのほとんど全部を利用することが可能となる。

【0063】図19～21は、デカボランイオンを注入するのに適したイオン注入装置の構成例を示す。

【0064】図19において、デカボランを収容するデカボランボトル50は、デカボランボトル50の内部を所望の温度まで加熱するためのヒータ51を備え、ニードルバルブ52を介して真空槽53に接続されている。真空槽53内においては、フィラメント55とアノード56を含む電子照射系54が、デカボランガスが噴射される位置の近くに配置されている。引出電極57は、電子照射系54の次に配置され、正イオンを引き出す。引出電極57によって引き出されたイオンは、レンズ58a、58bおよび開口59によって収束される。収束されたイオンビームは、加速器60によって加速され、X偏向器61およびY偏向器62によって偏向され、ターゲット63の所望の位置に注入される。

【0065】図19の装置において、デカボラン分子は電子照射によってイオン化されている。

【0066】図20の装置においては、図19のニードルバルブに代え、ストップバルブ65とマスフローコントローラ66の組み合わせが用いられている。ストップバルブ65は、マスフローコントローラ66の背圧が約1 torr以上であることを保証する。第1段電子レンズ58aの後に、入口開口67、電子レンズ68、アナライザマグネット69および出口または分解開口70が配置され、質量分析器を構成している。出口開口70の後は、他の電子レンズ71が配置されている。図20の装置の他の構成は、図19の対応するものと同等である。

【0067】図20の装置において、デカボランの流れはストップバルブ65とマスフローコントローラ66によって制御できるため、デカボランボトル50は50℃以上に加熱することができ、デカボラン分子の供給を安定化することができる。

【0068】図21の装置においては、電子照射系の代わりに、プラズマイオン源73が用いられている。引出電極74は、プラズマイオン源の後に配置され、イオンビームをアナライザマグネット69に供給する。図21の装置の他の構成要素は、図20のものと同等である。

【0069】以上説明したように、極めて浅いドーブ領域を形成するためにデカボランイオンを用いることができる。さらに、我々は、活性化アニーリング後の不純物分布を極めて浅く維持するためには、一定レベル以下の加速エネルギーが好ましいことを見いだした。

【0070】図22は、デカボランイオンを5 keVおよび10 keVで加速した時のボロン分布を示す。図において、横軸は2次イオン質量分析(SIMS)で測定した基板内の深さをnmで示し、縦軸はB濃度を原子/cm³で示す。曲線p50は、デカボランイオンを5 keVで加速し、 1×10^{13} cm⁻²のドーズとした時の打ち込んだままのボロン分布を示す。曲線p51は、曲線p50のイオン注入後、900℃で10秒間の活性化アニーリングを行った後のボロン分布を示す。ボロン分布p51は、曲線p50の分布に極めて近いことが明確に読み取れる。

【0071】曲線p52は、ドーズ量 1.0×10^{13} cm⁻²で、10 keVで加速したデカボランを注入した後の注入したままのボロン分布を示す。曲線p53は、曲線p52のデカボラン注入の後、900℃で10秒間の活性化アニーリングを行った後のボロン分布を示す。活性化アニーリングによって、分布p53は、注入したままの分布p52よりもかなり深く拡張している。電気的に活性な不純物原子を得るためには、打ち込んだイオンを活性化することが必要である。したがって、極めて浅い接合深さを得るためには、デカボランを約5 keV以下の加速エネルギーで注入することが好ましい。

【0072】ボロンイオンを注入する場合、 10^{16} cm⁻²以下のボロン分布が過度に広がる(拡散する)過

渡的増速拡散が常に認められた。この現象は、デカボランを10keVの加速エネルギーで注入した時にも認められた。5keVの加速エネルギーにおいては、過渡的増速拡散は著しく低減し、極めて浅い接合を可能とした。5keVの加速エネルギーにおいては、単一のボロンイオン当たりの平均的加速エネルギーは500eVであり、この値は従来のボロンイオン注入においては、実現不可能であった。

【0073】不純物原子は、Si結晶をチャンネリングによって通過することがある。チャンネリングを防止するためには、基板表面にアモルファス層を形成することが好ましい。たとえば、Geイオンを加速エネルギー40keV、ドーズ 2×10^{14} 原子/cm²で注入し、その後デカボランイオンをSi結晶に注入すればよい。

【0074】以上説明したように、デカボランを用いることにより、Bのイオン注入と比較して高い効率でボロンを浅くイオン注入することが可能となる。

【0075】本発明は、以下の態様を含む。

1. 固体のデカボラン(B₁₀H₁₂)を気化する工程と気体状のデカボラン分子をイオン化させる工程とデカボランのイオンを電界で加速してターゲットに注入する工程とを含むイオン注入方法。

【0076】2. 前記固体デカボランの気化工程が固体デカボランを減圧雰囲気中で気化させる工程を含む1項記載のイオン注入方法。

【0077】3. 前記固体デカボランを気化する工程が、固体デカボランを加熱する工程を含む1項記載のイオン注入方法。

【0078】4. さらに、気化したデカボランをストップバルブと微調整バルブを介して前記イオン化工程を行なうイオン化室へ供給する工程を含む1項記載のイオン注入方法。

【0079】5. 前記イオン化工程が電子照射によってデカボランをイオン化させる工程を含む1項記載のイオン注入方法。

【0080】6. 前記電子照射工程が加速エネルギー20eV以下の電子を照射する工程を含む5項記載のイオン注入方法。

【0081】7. 前記イオン化工程の後に質量分析を行ない、所望のイオンを選択する工程を含む1項記載のイオン注入方法。

【0082】8. 前記イオン化工程の後に質量分析を行ない所望のイオンを選択する工程を含む5項記載のイオン注入方法。

【0083】9. 前記イオン化工程がプラズマによってデカボラン分子をイオン化させる工程を含む1項記載のイオン注入方法。

【0084】10. 前記イオン化工程の後に質量分析を行ない、所望のイオンを選択する工程を含む9項記載のイオン注入方法。

【0085】11. 前記イオン化工程の後に質量分析を行ない所望のイオンを選択する工程を含む7項記載のイオン注入方法。

【0086】12. 前記質量分析を行なう工程が前記イオン化したデカボランの分子量を107から123の質量範囲に選択する工程を含む11項記載のイオン注入方法。

【0087】13. 前記デカボラン中のボロン原子が原子量11のボロンのみで構成されている1項記載のイオン注入方法。

【0088】14. 前記デカボラン中のボロン原子が原子量10のボロンのみで構成されている1項記載のイオン注入方法。

【0089】15. 前記デカボランのイオンを加速する工程は、約5keV以下の加速エネルギーでイオンを加速する1項記載のイオン注入方法。

【0090】16. さらに、前記デカボランのイオンを加速する工程の前に、前記ターゲットに電気的に不活性の不純物原子を注入し、アモルファス表面層を形成する工程を含む1項記載のイオン注入方法。

【0091】17. デカボランをイオン化する工程と、イオン化したデカボランをSiウエハに注入する工程とを含む半導体装置の製造方法。

【0092】18. デカボランをイオン化するイオン化工程と、イオン化したデカボランをSiウエハに約5keV以下の加速エネルギーで注入する注入工程とを含む半導体装置の製造方法。

【0093】19. 前記Siウエハが少なくとも表面にn型Si領域を含み、さらに注入工程後、活性化アニールを行ないpn接合を形成する工程を含む18項記載の半導体装置の製造方法。

【0094】20. 前記Siウエハが絶縁ゲート電極を備えたn型Si表面層を含み、前記注入工程がpチャネルMOSFETのLDD部にデカボランを注入しpn接合を形成する工程を含む18項記載の半導体装置の製造方法。

【0095】21. 前記Siウエハが絶縁ゲート電極を備えたn型Si表面層を含み、前記注入工程がpチャネルMOSFETのソース/ドレインにデカボランを注入しpn接合を形成する工程を含む18項記載の半導体装置の製造方法。

【0096】22. 前記注入工程がpチャネルMOSFETのポリSiまたはアモルファスSiのゲートにデカボランを注入しp⁺型ゲート電極を形成する工程を含む18項記載の半導体装置の製造方法。

【0097】23. 前記pチャネルMOSFETのゲートが高さ0.1μm以下である22項記載の半導体装置の製造方法。

【0098】24. 前記注入工程の前に、Siウエハに電気的に不活性な元素のイオン注入を行ない、表面領域

をブリアモルファス化する工程を含む18項記載の半導体装置の製造方法。

【0099】25. 前記注入工程が埋め込みpチャンネルMOSデバイスの埋め込みチャンネルにデカボランを注入する工程を含む18項記載の半導体装置の製造方法。

【0100】26. 固体デカボラン($B_{10}H_{14}$)を気化するための手段と、気化されたデカボラン分子をイオン化するための手段と、デカボランイオンを電界によって加速し、ターゲットに注入するための手段とを有するイオン注入装置。

【0101】27. 前記デカボランを気化するための手段は、固体デカボランを収容する排気可能な容器を含む26項記載のイオン注入装置。

【0102】28. 前記排気可能な容器は、ヒータを備える26項記載のイオン注入装置。

【0103】以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。たとえば、種々の変更、改良、組み合わせが可能なのは当業者に自明であろう。

【0104】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、Bのイオン注入と比較して、高い効率でボロンを浅くイオン注入することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】デカボランの分子構造を示す図である。

【図2】等価引出電圧とボロン原子数の関係を示すグラフである。

【図3】デカボランイオン注入装置を概略的に示す線図である。

【図4】デカボラン分子がどのようにイオン化でき、イオン化されたデカボランイオンがどのように質量分析できるかを示す線図である。

【図5】基板内のボロン分布を示すグラフである。

10

＊【図6】基板内のボロン分布を示すグラフである。

【図7】基板内のボロン分布を示すグラフである。

【図8】面抵抗とアニール温度の関係を示すグラフである。

【図9】面抵抗と接合深さの関係を示すグラフである。

【図10】リーク電流と逆方向電圧の関係を示すグラフである。

【図11】デカボランイオン注入を用いて形成する半導体装置の概略断面図である。

【図12】ドレイン電流とドレイン電圧との関係およびドレイン電流とゲート電圧との関係を示すグラフである。

【図13】閾値電圧とゲート長との関係を示すグラフである。

【図14】S因子とゲート長との関係を示すグラフである。

【図15】ドレイン電流と閾値電圧との関係を示すグラフである。

【図16】種々の注入エネルギーにおけるボロン分布のシミュレーションの結果を示すグラフである。

【図17】デカボラン分子を種々の加速電圧の電子で照射した時の質量分析の実験の結果を示すグラフである。

【図18】デカボラン分子を種々の加速電圧の電子でイオン化した時の種々の種の分布を示すグラフである。

【図19】デカボランを注入するためのイオン注入装置を示す概略的断面図である。

【図20】デカボランを注入するためのイオン注入装置を示す概略的断面図である。

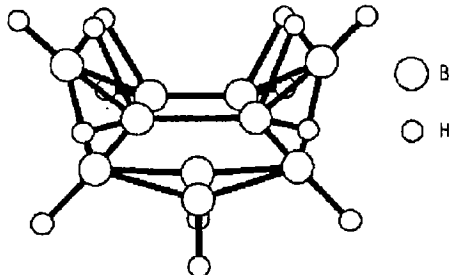
【図21】デカボランを注入するためのイオン注入装置を示す概略的断面図である。

【図22】デカボランイオンを5keVおよび10keVで加速した時のボロン分布を示すグラフである。

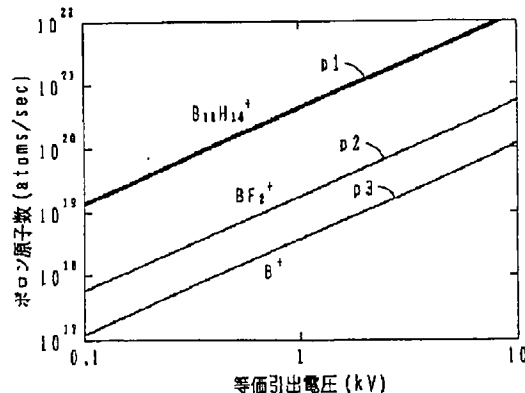
30

＊

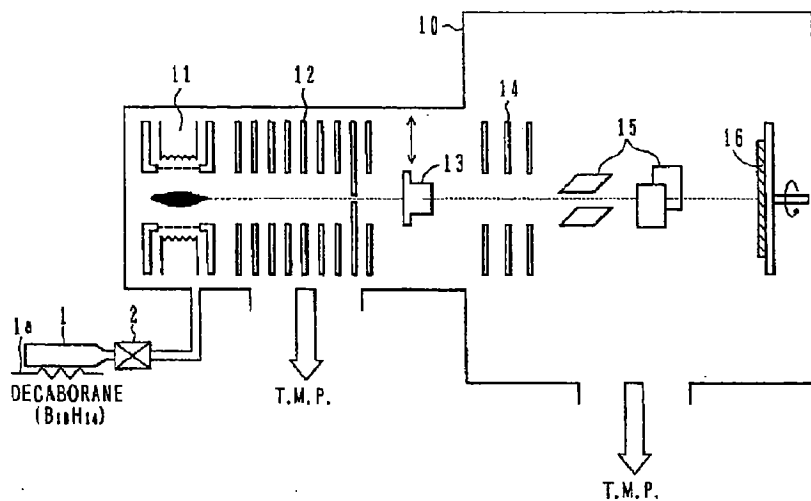
【図1】



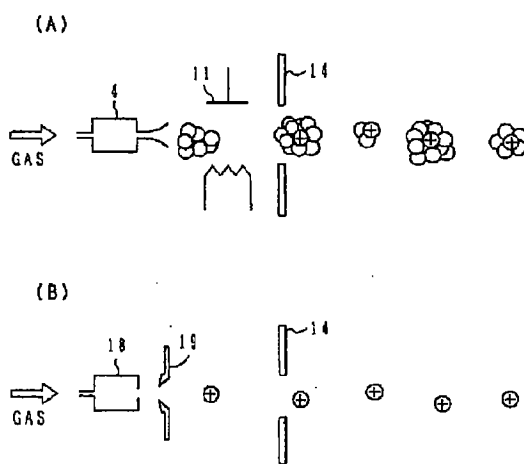
【図2】



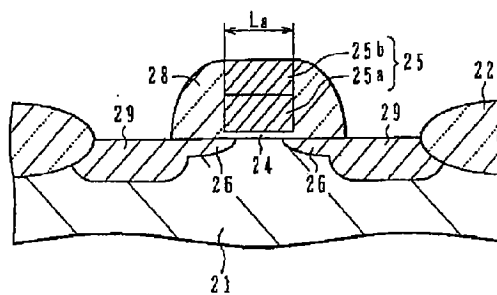
【図3】



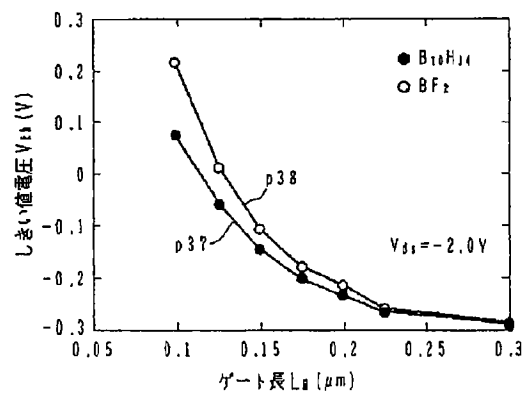
【図4】



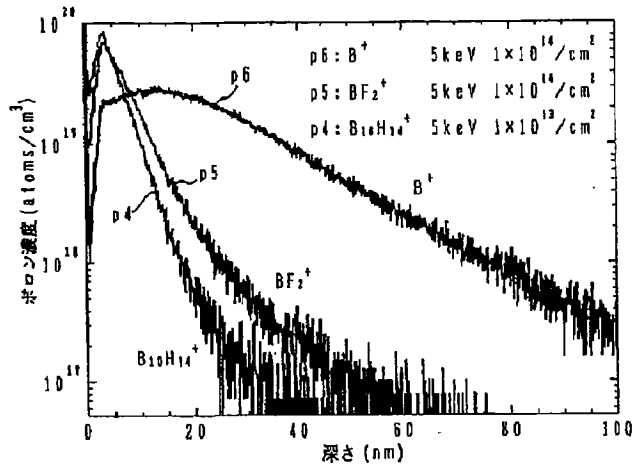
【図11】



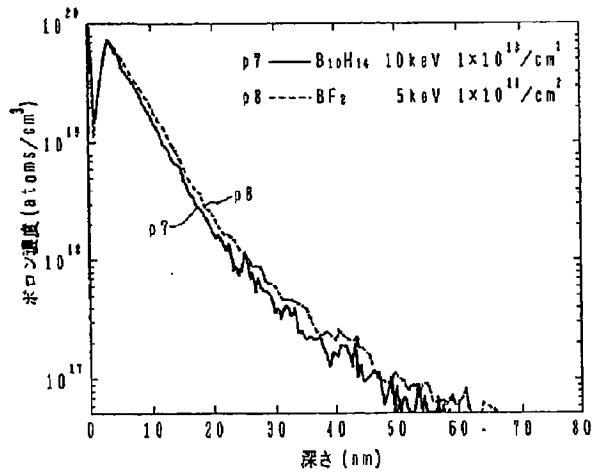
【図13】



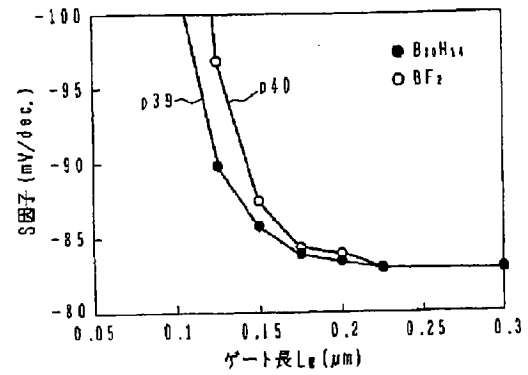
【図5】



【図6】

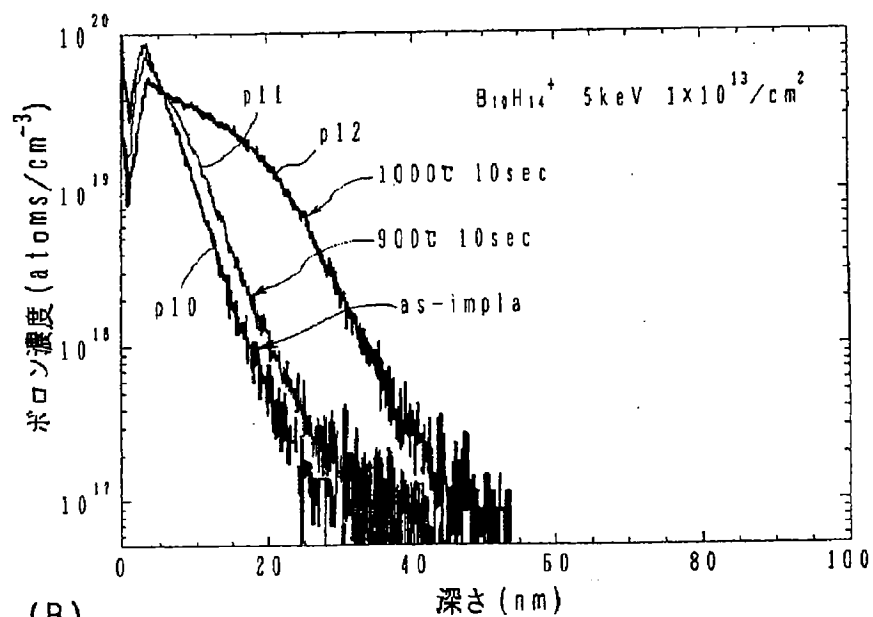


【図14】

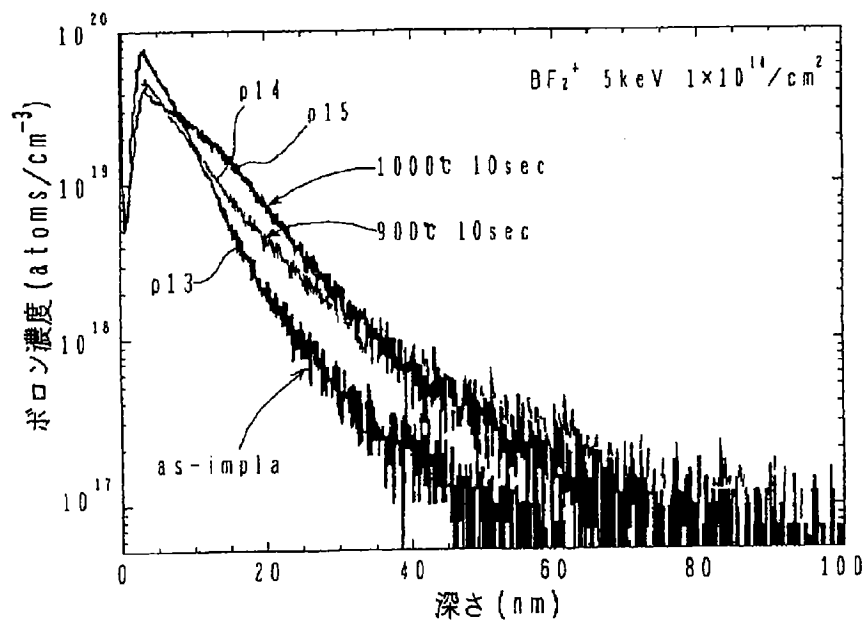


[図7]

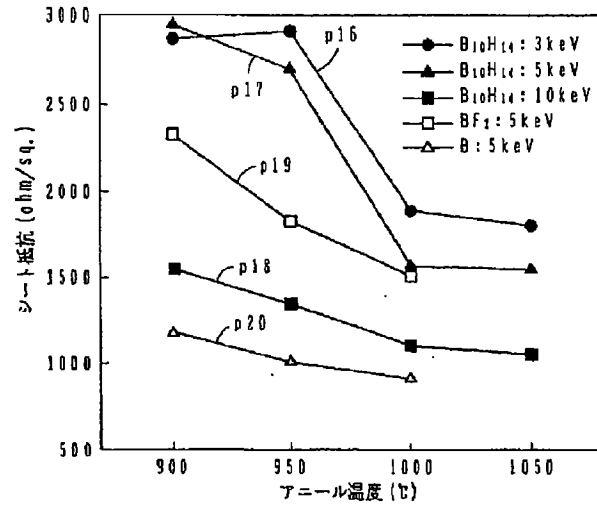
(A)



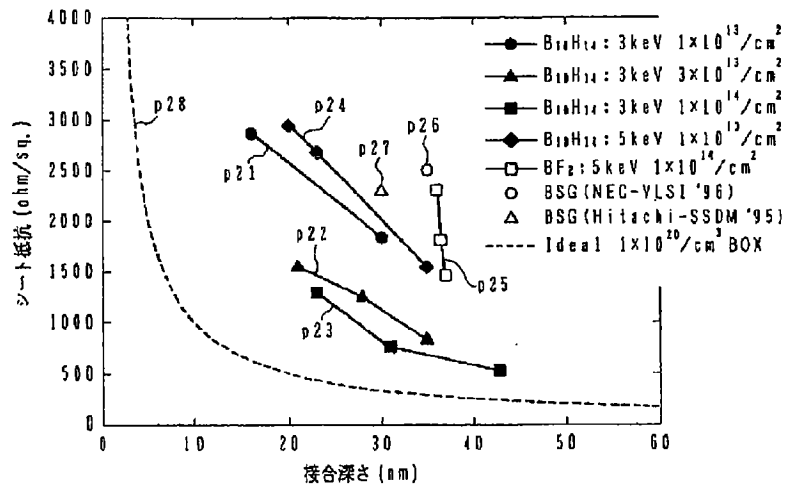
(B)



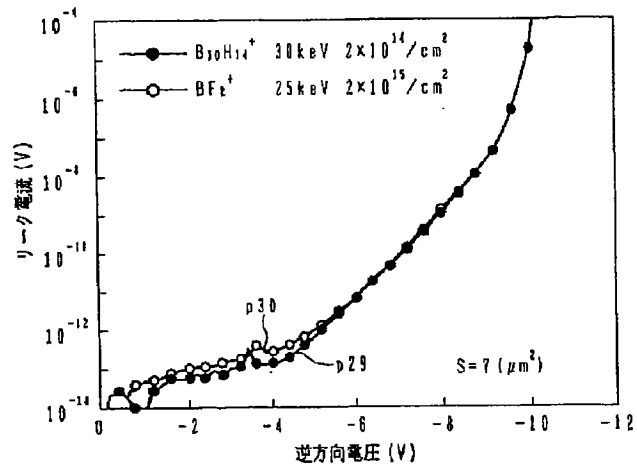
【図8】



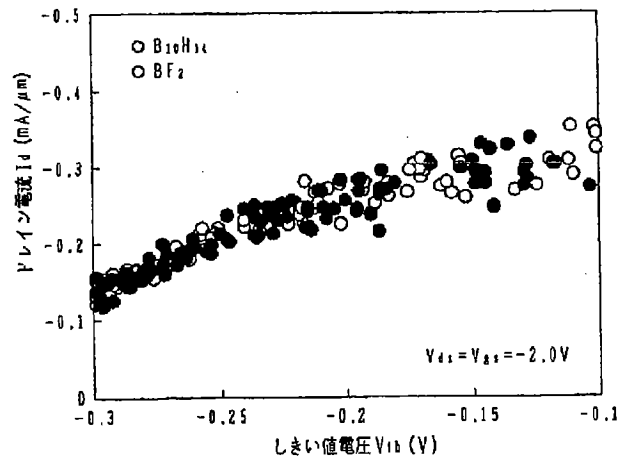
【図9】



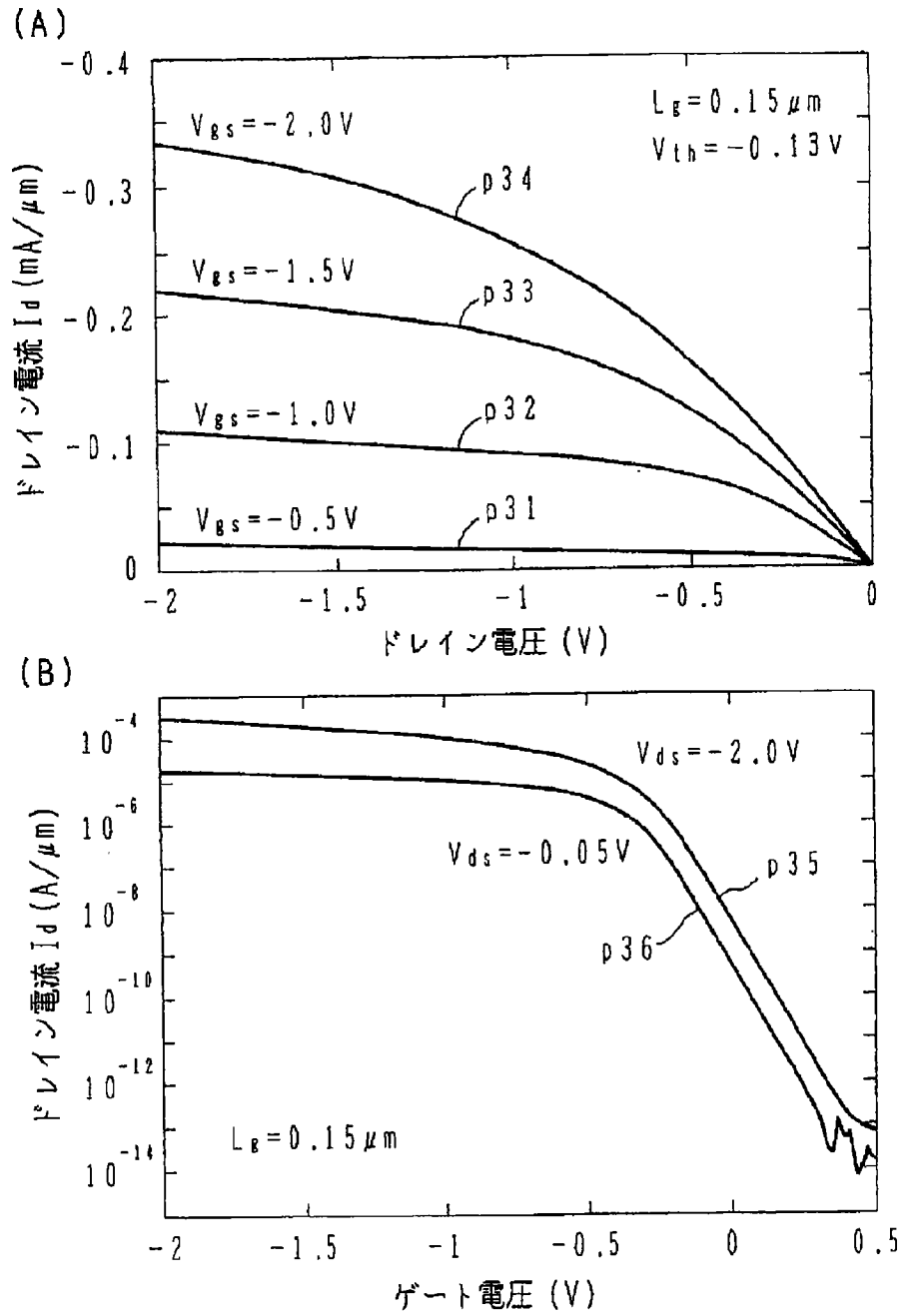
【図10】



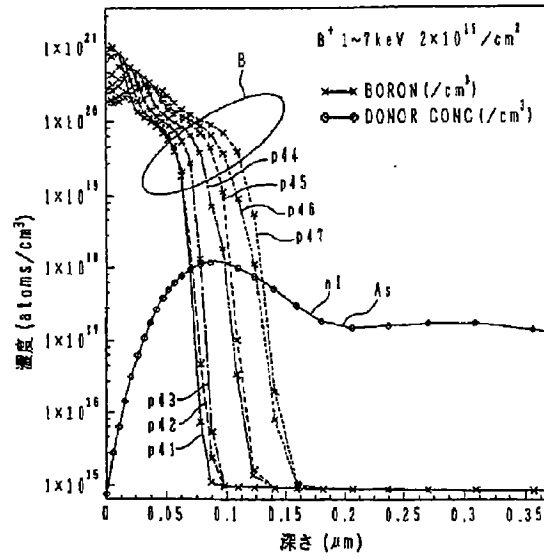
【図15】



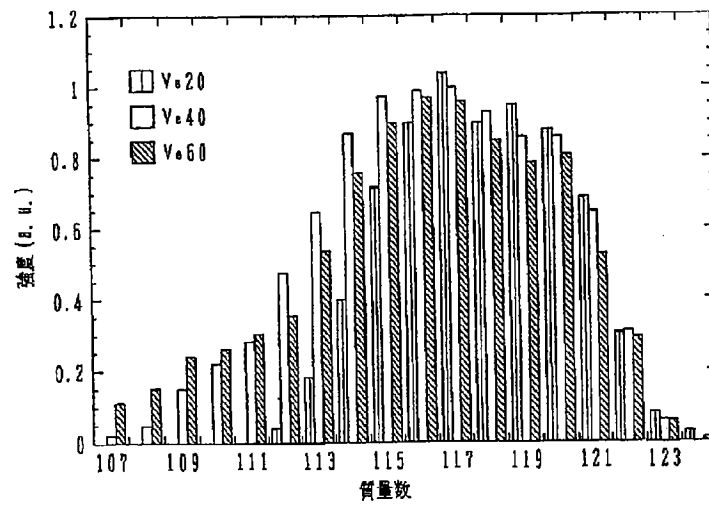
【図12】



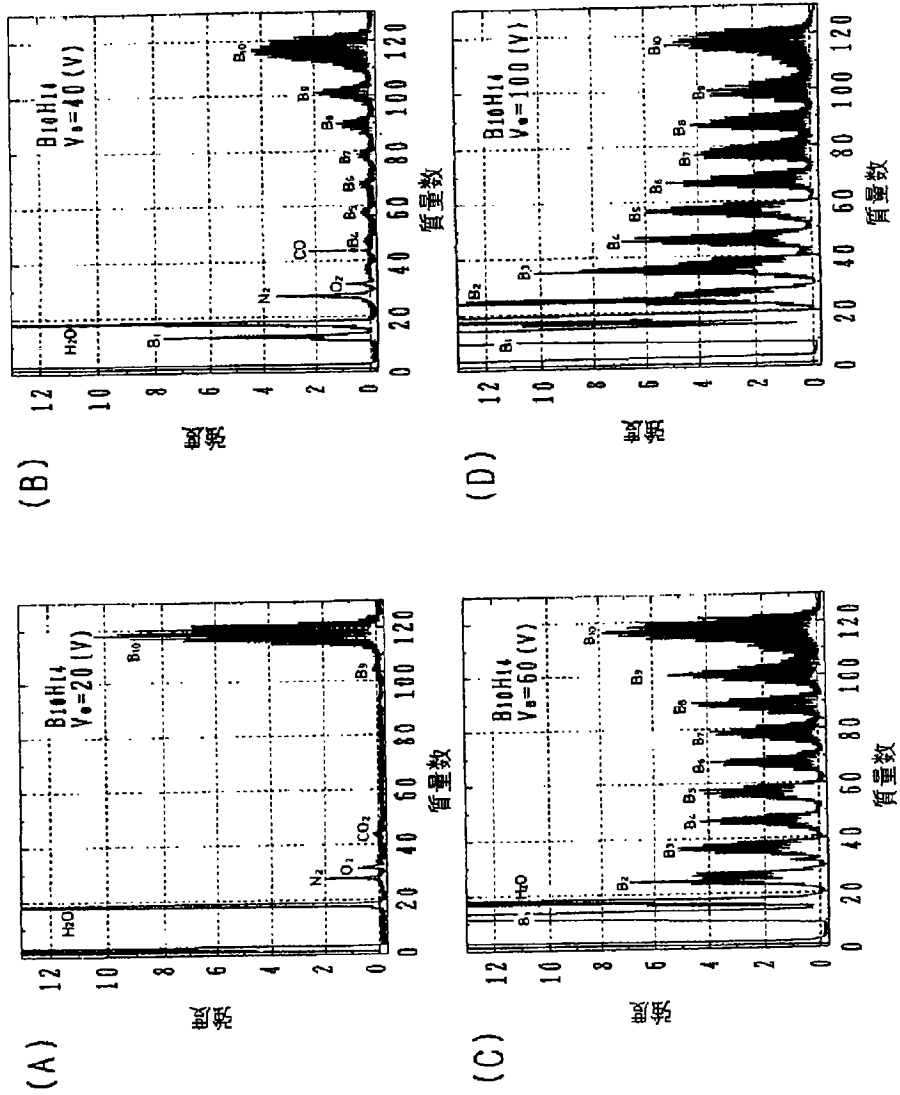
【図16】



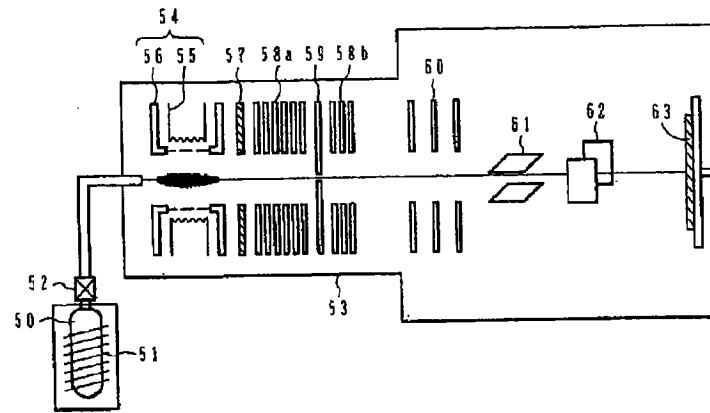
【図18】



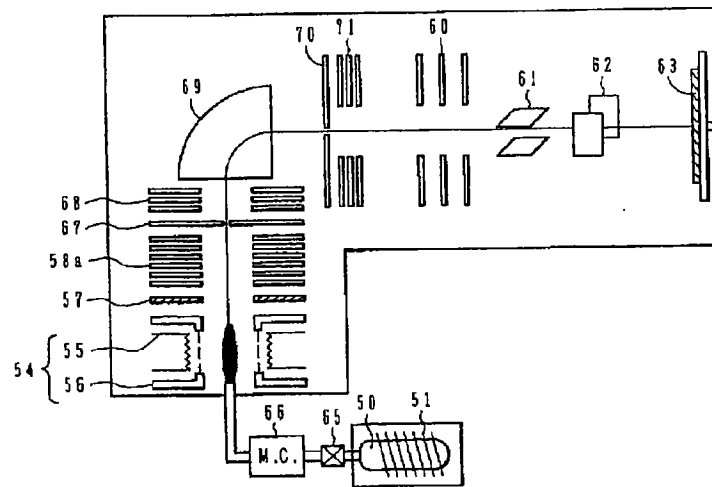
【図17】



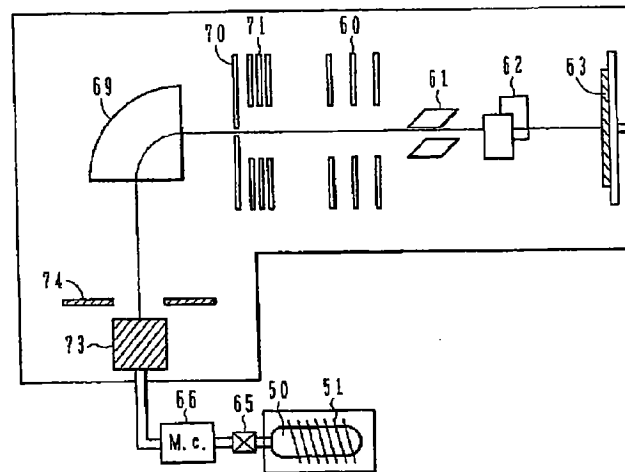
【図19】



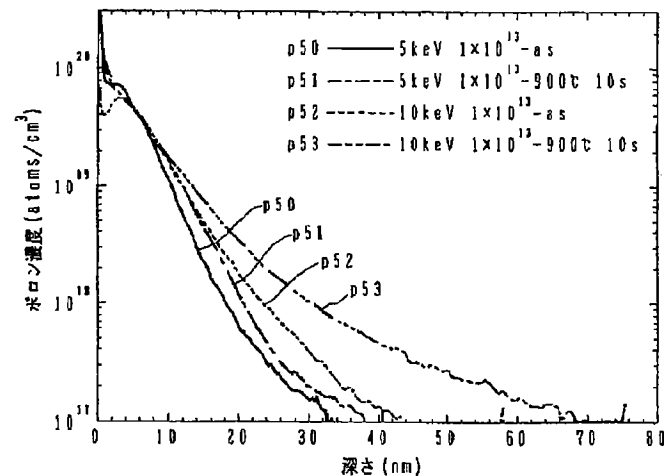
【図20】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

(72)発明者 加勢 正隆
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72)発明者 松尾 二郎
 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内
 (72)発明者 山田 公
 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内

(72)発明者 竹内 大輔
 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内
 (72)発明者 豊田 紀章
 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内
 (72)発明者 島田 規広
 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第7部門第2区分
 【発行日】平成13年4月13日(2001.4.13)

【公開番号】特開平10-163123
 【公開日】平成10年6月19日(1998.6.19)
 【年通号数】公開特許公報10-1632
 【出願番号】特願平8-323065
 【国際特許分類第7版】

H01L 21/265

【F1】

H01L 21/265

Z

W

D

【手続補正書】

【提出日】平成11年11月9日(1999.11.9)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 固体のデカボラン($B_{10}H_{14}$)を気化させる工程と、
 気体状のデカボラン分子をイオン化させる工程と、
 前記イオン化工程の後に質量分析を行い、前記イオン化したデカボランの分子量を107から123の質量範囲から選択するイオン選択工程と、デカボランのイオンを電界で加速してターゲットに注入する工程とを含むイオン注入方法。

【請求項2】 前記イオン化工程において、デカボランのイオン化を加速エネルギー20keV以下の電子を照射して行う請求項1記載のイオン注入方法。

【請求項3】 前記イオン化工程が、プラズマによってデカボラン分子をイオン化させる請求項1記載のイオン注入方法。

【請求項4】 デカボラン分子中のボロン原子が原子数11のもののみにによって構成されることを特徴とする請求項1記載のイオン注入方法。

【請求項5】 デカボラン分子中のボロン原子が原子数10のもののみにによって構成されることを特徴とする請求項1記載のイオン注入方法。

【請求項6】 デカボランをイオン化する工程と、
 前記イオン化工程の後に質量分析を行い、前記イオン化したデカボランの分子量を107から123の質量範囲から選択するイオン選択工程と、

次いで、イオン化したデカボランを、少なくとも表面にn型シリコン領域を含むシリコンウエハに注入する工程と、

次いで、活性化アニールを行いpn接合を形成する工程とを有する半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記シリコンウエハが絶縁ゲート電極を備えたn型シリコン表面層を含み、前記注入工程がpチャネルMOSFETのソース・ドレインにデカボランを注入する請求項6記載の半導体装置の製造方法。

【請求項8】 前記注入工程の前に、シリコンウエハに電気的に不活性な元素のイオン注入を行い、表面領域をブリアモルファス化する工程を有する請求項6記載の半導体装置の製造方法。

【請求項9】 デカボラン分子中のボロン原子が原子数11のもののみにによって構成されることを特徴とする請求項6記載の半導体装置の製造方法。

【請求項10】 デカボラン分子中のボロン原子が原子数10のもののみにによって構成されることを特徴とする請求項6記載の半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記イオン注入工程が、pチャネル型MOSトランジスタのポリシリコン乃至アモルファスシリコンからなるゲート電極へのデカボランイオンの注入工程であり、それによってp型ゲート電極を形成することを特徴とする請求項6記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記ゲート電極の高さが0.1μm以下であることを特徴とする請求項11記載の半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記イオン注入工程が、pチャネル型MOSトランジスタの埋め込みチャネル領域へのデカボランイオンの注入工程であることを特徴とする請求項6記載の半導体装置の製造方法。